

지하매설물 탐지시스템의 제어 및 표시장치

서 정 만* 정 순 기**

Control and Display Device of Underground Object Detect system

Jeong-Man Seo* Soon-Key Jung**

요 약

지하매설물을 탐지하는 기술에는 매설물의 송신기(transmitter)를 이용하여 전자기장을 가하여 매설물을 자화시켜 땅위의 상부에서 자속을 감지하여 매설물의 위치를 찾아내는 기술로 현재 가장 널리 사용되는 방식이다. 본 논문에서는 땅속에 일정 자계를 형성하여 그 자속 변화를 감지해 매설물 유무를 판단하는 방식과 지하매설물의 탐지시스템의 제어 및 표시 장치의 설계와 구성에 대하여 제안하였다. 또한 지하매설물의 탐지시스템의 시뮬레이션을 통하여 지하매설물의 판단 유무를 측정할 수 있음을 보였다.

Abstract

Imposing electromagnetic field using transmitter of buried metal object in skill that detect underground object sensing person atonement in being widowed on the land being magnetized upside numerical value of buried metal object searching way used most widely current by skill be.

This paper proposed about mode and detection system of underground object that sense the changed magnetic and judge real radish buried metal object sign of the cook because this treatise forms magnetic in land and design and composition of display device.

Also, through simulation of detection system of underground object, showed that can measure radish judgment sign of the cock of underground object

* 덕동정보대학 컴퓨터게임과 교수

** 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

I. 서론

전력선, 가스관, 전화선, 송유관 등과 같은 우리 생활에 필수적인 각종 공공 시설물(public utility)들의 설치에는 지상보다는 지하에 매설되는 추세로 변하고 있다. 이러한 시설물들의 지하 매설 공사가시 발생하는 각종 사고로 인해 우리는 매년 많은 인명손실과 경제적인 손해를 입고 있다. 이와 같은 각종 사고를 미연에 방지하기 위하여 지하에 매설된 객체를 사전에 발견하는데 매설물 탐지기가 이용되고 있다. 기존의 매설물 탐지기는 땅의 표면에 전자파를 주사하거나, 일정한 전자장을 형성시켜 그 변화를 측정하는 방법을 이용하고 있다. 주사파로는 전자파, 초음파 및 초고주파 등이 이용되고 있으나, 측정된 파장의 보정방법이 어렵고, 매질 변화에 민감하며 또한 장비가 고가라는 단점이 있다 [1][4]. 본 논문에서는 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 땅속에 일정한 전자계를 형성시켜 자속변화와 감지를 통해 매설물의 존재 유무를 판단할 수 있는 매설물 탐지시스템을 제안한다. 제2장에서는 지하매설물의 탐지원리를 기술하고, 제 3장에서는 지하매설물 탐지장치의 기능에 대하여 설명한다. 제 4장에서는 탐지 제어와 표지 장치의 구조를 기술하고, 제 5장에서는 구현한 매설물 탐지시스템의 성능을 실험을 통해 분석한다. 마지막 제 6장에서는 결론과 향후 연구과제에 대해 기술한다.

II. 지하매설물 탐지원리

1. 매설물 탐지 방법

1.1 자장센서

자장센서란 외부에 전자계를 형성, 일정한 자속흐름을 생성시켜 거리에 따른 일정한 전자계 에너지 준위를 갖도록 하여 다른 매질 또는 물질에 의해 자속의 흐름이 방해

되거나 자속수가 감쇄되는 현상을 감지하는 센서를 의미한다. 그러므로 자장센서는 전기적인 에너지를 자화물질에 자화시켜 에너지를 외부로 방사시킬수 있도록 설계되어야 하며, 자속의 변화를 감지할 수 있는 변수가 설계되어야 한다[3]. 이를 위해 자장코일이 사용되며, 설계변수로는 자화물(Core)의 재료, 형상, 권선재료와 권선수 및 자화 전류를 이용한다.

1.2 지향성 센서

지향성 탐지센서의 종류와 각각의 기능은 다음과 같다

-GPR (Ground Penetration Radar)

: 지표에서 지하로 고주파(수십 ~ 수백 MHz)대역의 전자파 신호를 발생시켜 지하로부터의 반사 또는 산란되는 전자파를 수신, 이를 분석함으로써 지하에 존재하는 불균질대를 분석하여 매설물을 탐지한다. 전자파는 매질의 전기적 특성에 따라 전기비저항 또는 진폭의 감쇄등을 겪게 되는데 이러한 반사파의 도달 시간이나 진폭 분석을 통해 탐사대상 지역에 설치된 매설물에 대한 정보를 취득한다[4].

-초음파(Ultrasonic wave)

: 초음파란 20 ~ 20000Hz보다 높은 주파수 파동을 의미한다. 초음파 시험에 주로 사용되는 영역은 500kHz ~ 100MHz이며 구조물의 결함측정에 주로 사용된다. 초음파는 탄성파이므로 속도가 느리고 같은 주파수라도 파장이 짧기 때문에 세밀한 지향성을 분석할 수 있으며, 전파방향의 분해능이 높다. 또한 액체나 고체중의 감쇄량이 적다는 장점이 있다[5].

표1. 센서비교표
Table1. Senser Compare table

파동본질	전자파		탄성파
	광파	전파, 전계, 자계	초음파
필스투과법	레이저에 의한 거리계측	레이다에 의한 거리계측, 위치표정	센서에 의한 깊이 측정, 어군탐지, 결합탐지, 의료용 진단
투과법	방사선 투과시험 원거리 센싱	마이크로웨이브 투과시험, 자기검사, 전자유도 검사	음속측정, Acoustic Emission
간섭법	광탄성시험(레이저 호로그래피)	전파거리계	공진형 두께 측정기, 기온측정, 초음파 호로그래피
도플러법	진동, 속도측정	도플러 레이저	도플러 유속계, 혈류계

1.3 자장센서를 이용한 탐지장치

자장센서를 이용하는 탐지장치의 종류와 기능은 다음과 같다

-직접연결모드(Direct Connection Mode)

: 송신기(Transmitter)와 매설물을 전선으로 연결하고 AC전류를 흘렸을 경우 전류가 접지막대를 통하여 수신기로 되돌아 오게 된다. 이때 수신기(receiver)가 작동하게 되며, 매설물이 있는 위치에서 수신기에 최대 전류가 흐르게 되므로 이를 이용하여 매설물의 깊이 등을 파악한다.

-자기유도 모드(Inductive Mode)

: 송신기가 전자장(magnetic field)을 형성시키면 매설물이 전자장을 형성하고, 형성된 전자장을 수신기로 검출하여 매설물 위치를 찾아낸다.

받기 때문에 1차 전자계에 의해 발생하는 참조(reference) 수신신호와 1, 2차 전자계의 영향을 모두 받은 측정(measurement) 수신신호간에는 진폭(amplitude)과 위상(phase)상에 차이가 발생한다. 이러한 차이점을 분석하여 매설물의 존재 유무를 판단한다. 흙을 매질로 하는 전파속도는 공기를 매질로 하는 전파 속도보다 느리기 때문에 거리에 따른 위상변화 (θ)도 크게 발생된다. 그러므로 땅의 매질성분과 습도에 따라 전파속도 및 위상변화도 그 기준치가 달라지므로 환경에 따른 초기 기준치를 사전에 설정해야 하며, 기준치에 따라 상대적인 비교, 평가를 통해 매설물의 존재 유무를 판단해야 한다.

매설물질의 종류에 따라 유전율, 투자율 및 도전율이 달라지므로 매설물에 흡수되는 와류전류(θe)의 위상도 달라진다. 이러한 특성에 따라 수신신호를 분석하면 매설된 물질의 종류도 파악할 수 있다.

III. 지하매설물 탐지장치 원리

1. 탐지장치의 구조

탐지장치의 구성도는 그림 1과 같다.

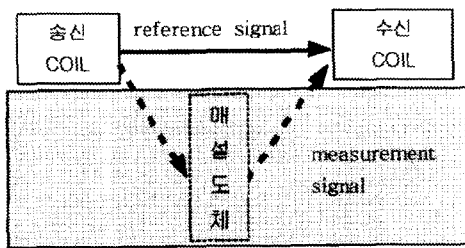


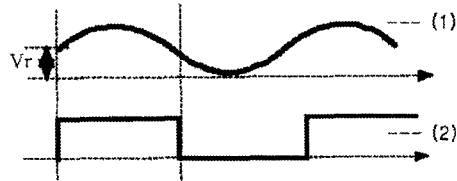
그림 1. 전파관계
Fig 1. propagation relation

송신코일에 매설도체 및 수신코일에 10kHz의 싸인파(sinewave)를 출력 2watt 이내의 센서송신 출력으로 방사한다. 매설물은 전자파를 gain Av만큼 흡수하며 이를 eddy current 전환하여 2차 방사 전자계를 형성한다. 이때 수신코일은 송신 코일에 의한 1차 전자계와 매설물의 와류(eddy) 전류에 의한 2차 전자계의 영향을

2. 포착 신호의 종류

포착 신호의 종류는 다음과 같다.

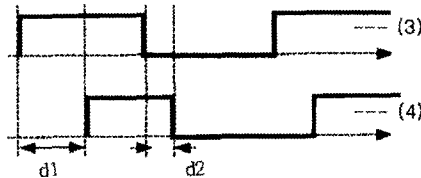
1) FLUX DETECTOR 출력



파형 (1) : 수신 신호로서 싸인파
파형 (2) : FLUX DETECTOR 출력

그림 2. 수신신호
Fig 2. receive signal

2) 참조신호와 측정신호



파형 (3) : EPLD 입력전 참조신호
파형 (4) : EPLD 입력전 측정신호

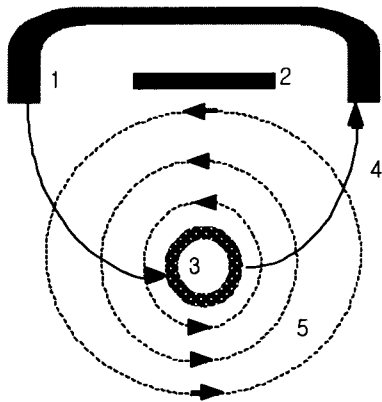
그림 3. 측정신호
Fig 3. measurement signal

그림3에서 d1과 d2의 분석을 통해 두 파형의 진폭 변화량과 위상 차이를 계산할 수 있다.

IV. 제어 및 표시장치의 구조

1. 지하매설물 탐지방법

본 논문에서 제안한 탐지시스템은 탐지장치를 지하매설물에 직접 부착시키지 않고 지표상에서 매설물을 탐지하는 간접적인 방법을 사용하고 있다. 지하에 일정한 전자계를 형성시키고, 그 자속의 변화를 감지하여 매설물의 존재 유무를 판단하는 방법을 사용한다. 즉 일정한 파형의 송신코일을 이용하여 일정한 자계를 형성시키고, 전자계가 매설물에 닿으면 표면 전류가 흐르도록 한다. 표면 전류를 와류 전류라 하며, 이 전류에 의해 생성된 전자계를 와류 자계라 한다. 이러한 2차 전자계는 송신코일에 의해 형성된 최초의 1차 전자계와 만나 자속의 흐름에 변화를 발생 시킨다. 이는 수신 gain의 변화와 위상차를 발생시키므로 수신코일의 변화 정도에 따라 파형에 변화가 발생하게 된다. 이러한 변화량의 검출을 통해 매설물의 유무를 판단하게 된다.



1 : 송신코일 2 : 수신코일 3 : 매설물
4 : 1차자계(송신자계) 5 : 2차자계(와류자계)

그림4. 송수신 코일 위치 및 자계 형성도
Fig 4. Send-Receive coil position and current configuration

2. 탐지 제어 장치의 구조

탐지 장치의 제어부는 센서부를 통해 입력된 신호로써 탐지 유무를 파악하기 위한 것이다. 센서부는 아날로그 신호를 제어부에 입력해주기 때문에 제어부에서 이를 유효한 데이터로 받아들여 가공하기 위해서는 아날로그 신호의 변환 과정이 필요하다.

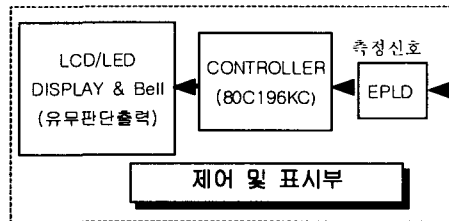


그림 5. 블록 다이어그램
Fig 5. Block Diagram

신호 변환에는 AD 컨버터가 이용되며, 변환된 데이터 값의 비교를 통해 부저(buzzer)나 LCD 표시기를 이용하여 사용자에게 매설물의 존재 여부를 알려준다.

탐지 장치의 제어 흐름도는 그림 6과 같다. 흐름도에서 P0.0는 전력선, P0.2는 통신선 탐지에 이용하는 변수이다.

rd1 : 지면에서 Reset 시킨 후에 d1값으로 초기화 한다.

d1 : 탐지기의 위치를 변화시킨 후에 탐지할 지점에서 변경된 값을 의미한다.

도체가 탐지되면 일반적으로 도체가 없었던 최초 rd1 값보다 d1값이 작게된다.

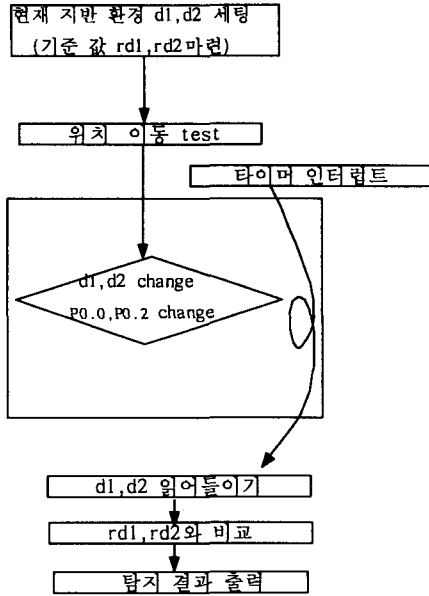


그림6. 제어 흐름도
Fig 6. Control Flowchart

3. 탐지 표시장치의 구조

3.1 개요

탐지 장치의 제어부에서는 센서부를 통해 입력된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시키기 위해 AD 컨버터를 이용한다. 그러나 신호의 주파수(0.1us, 10KHz)가 매우 짧아 이를 유효하게 샘플링하고, 신속히 변환시키기 위해서는 고속의 컨버터가 소요된다. 신호 획득시 CPU의 데이터 입력시점이나 완료시점을 정하기 위해서는 신호 컨버터가 CPU에게 외부 인터럽트 신호를 주든지 또는 버퍼를 이용해 인터페이스 해야 한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 아날로그 신호 파형의 재현이 아니라 아날로그 신호의 위상차를 이용하는 탐지방법을 사용한다. 그리고 저가형의 탐지장치 개발이 주목적이기 때문에 AD 컨버터 대신에 카운터를 신호 변환장치로 사용하기 위해서는 센서부에서는 아날로그 신호 간의 위상차이를 TTL 레벨의 전압을 갖는 신호로 변환시켜주는 부가적인 회로가 필요하다.

3.2 제어장치의 사양

표2. 제어장치 사양
Table 2. Control device of specification

CPU	intel 80c196KC 20Mhz	본제어기 용도로는 16Mhz사용
ROM	EEPROM 120ns - 150ns 27C256 series	32K
RAM	SRAM 62256 series	32K
EPLD	ALTERA EPM7096LC - 15	센서입력처리, 카운터, 버퍼, address 디코더용
LCM 모듈	UC162-06	16 characters * 2Lines

제어장치의 CPU는 intel 80c196KC를 사용하며, 메모리인 ROM, RAM 그리고 IO 버퍼 레지스터와의 인터페이스를 위해 memory mapped IO 방식을 채택하고 있다. intel 80c196KC의 경우 1개의 입력 전용포트, 1개의 입출력 전용 포트 및 특수용도의 포트를 포함한 총 3개의 포트를 사용한다. 위와 같은 IO방식을 사용함으로써 포트들을 데이터 획득 목적 이외에도 다른 용도로 자유롭게 이용할 수 있다. 소프트웨어 측면에서도 데이터 획득을 위한 IO 버퍼 레지스터의 접근시 일반 RAM에 데이터를 입출력 하는 것과 같은 방법을 이용할 수 있다.

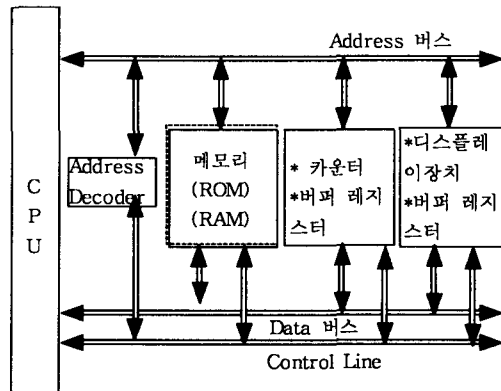


그림 7. 컨트롤러 설계도
Fig 7. Design Block Diagram of Controller

표3. 주요핀용도와 디바이스
Table 3. Main Pin purpose and Device

제어신호	주용도	연관 Device
READY	/RD 시그널 timing 조정	EPLD 입력(주소 decoder)
CLKOUT	8Mhz 출력	EPLD 입력(카운터 부분)
ALE, /ADV	Address 획득 컨트롤	
/RD	데이터 읽기 컨트롤	EPLD 입력(주소 decoder)
/WR, /WRL	데이터 쓰기 컨트롤	EPLD 입력(주소 decoder)
P0.0, P0.1	전력선 검출 신호획득	
P0.2, P0.3	통신선 검출 신호획득	
P1	신호지연의 카운팅 값 출력	
P2.6	에러 신호 출력	LED(초록색)
P2.7	도체 탐지 신호출력	LED(붉은색), LCD
P3, AD0-7	Address 와 data 신호	
P4, AD8-15	Address 와 data 신호	(A12-A15)는 EPLD 입력(주소 decoder)

데이터 입력 디바이스의 선택을 위해서 디코더 설계와 데이터 제어 타이밍의 조절이 필요하다. 그림 7은 탐지 장치 제어기의 전체적인 설계도이다. 설계도 중에서 Address 디코더와 카운터 버퍼에 해당하는 부분은 EPLD(Erasable and Programmable Logic Design)로 구현하였다. EPLD가 인터페이스를 위한 외부 입력장치에 해당된다. 표 3은 인텔 80c196KC의 주요 핀의 용도와 관련된 장치를 나타낸다.

3.3 EPLD의 기능

EPLD(Erasable & Programable Logic Device)는 AHDL(Altera Hardware Description Language)언어를 이용하며, 기존의 PAL과는 달리 flip flop이나 tri-state buffer와 같은 Asynchronous한 소자를 프로그램으로 구현한다. 본 논문에서는 EPLD를 주소 디코더(decoder), 입력 신호들 간의 지연차를 클럭에 동기시키는 카운터 및 인터페이스를 위한 버퍼로서 사용한다.

그림 8은 EPLD로 입력되는 두 신호 CDTEC, SIG와 두신호의 위상 차이를 클럭(cik)과 동기시켜 카운팅하는 과정을 나타내고 있다. 카운팅된 값들은 TRI-STATE 버퍼에 각각 저장되며, CPU에서는 타이머 인터럽트를 발생시켜 이를 주기적으로 읽어 들인다.

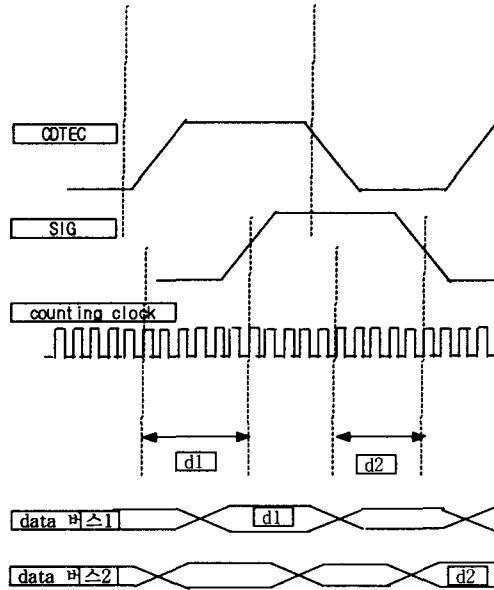


그림8. 위상차이 카운팅 원리
Fig 8. Phase difference and counting principles

3.4. 표시 기능

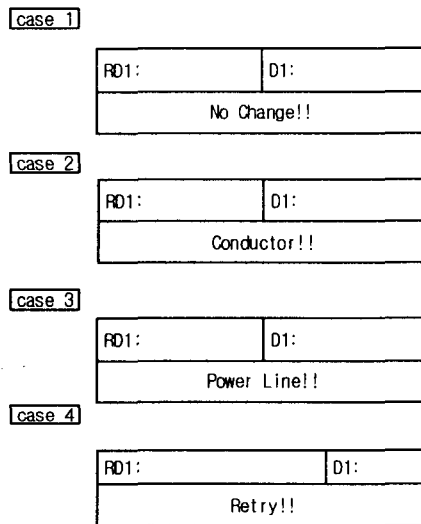


그림9. LCD 출력형태
Fig 9. LCD Output format

탐지기의 결과는 LCD 와 부저를 통하여 표시되며, LCD로는 16 Character*2 line형을 사용하였다. LCD의 상단부에는 입력신호의 지연 간격을 비교, 표시하며, 하단부에는 탐지결과를 표시한다. 탐지 시스템은 도체와

전력선만을 탐지 할 수 있도록 구현되었다. LCD는 기본적으로 4개의 형태의 출력을 가진다. 상단에 표시된 RD1, D1의 의미는 그림 9와 같다.

V. 실험 및 결과분석

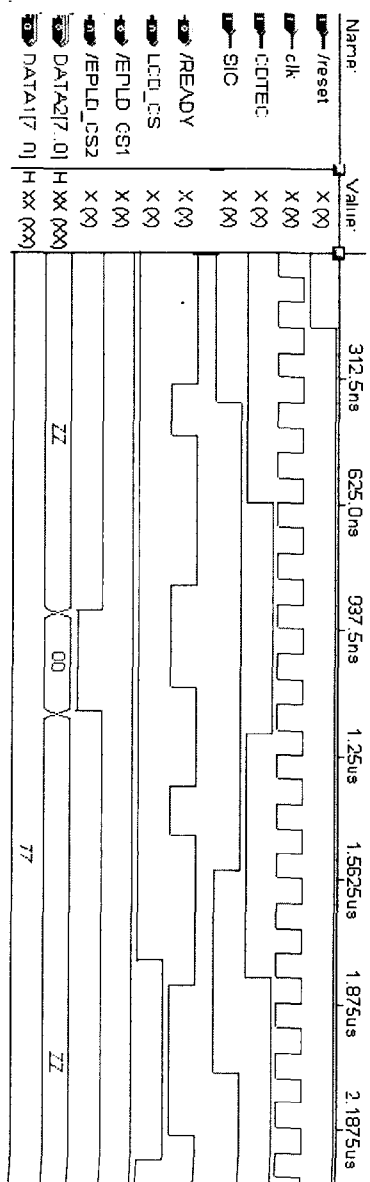


그림 10. 시간지연도
Fig 10. Time delay

본 논문에서 제안한 탐지 시스템을 실험하기 위해 다음과 같은 address decoder 동작과 /READY 제어를 위한 논리회로를 설계하였으며, 시뮬레이션을 통해 결과를 분석하였다. 데이터 버퍼에 저장된 값을 읽어 들이고자 할 때 각 칩이 선택되고 난 후 데이터 유효시간(data valid time)이 서로 차이가 나기 때문에 이를 조절해 주어야 할 필요가 있다. 이는 /READY 신호를 이용하여 조절하는데 LCD와 RAM에 데이터를 WRITE 할 때도 같다. /READY 신호는 ALE 신호가 발생되고 난 후 /RD 또는 /WR 신호가 발생하게 될 때 까지의 시간을 일정시간(state) 만큼으로 지연시킨다. 여기서 state는 카운터에서 사용하는 clock의 한 cycle이다. 그림10의 결과에서 /EPLD_CS 가 low 가 되면 /READY가 2 state 동안 지연되고 /LCD_CS가 HIGH가 되면 각각 3 state지연이 일어나도록 하고 있음을 확인 할 수 있다. 지연이 발생함으로써 데이터버퍼에 저장된 값을 읽어 들이는 시간을 조절 할 수 있다.

그림 11은 CDTEC 과 SIG 라는 두 입력 신호에 대해 그 지연 시간차이를 카운팅(counting)하기 위해

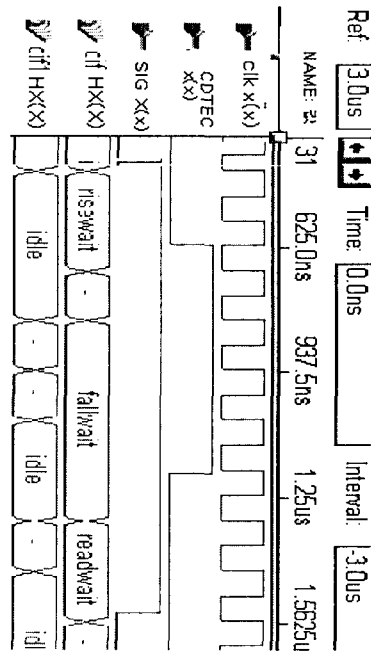


그림 11. 매설유무판단 결과도
Fig 11. decision result of buried object

state machine (cif)를 구성하고 아래와 같은 state change를 형성하도록 했다. cif 항목에서 risewait state와 readwait state 동안 카운팅을 하게 된다. 결과 값으로서 risewait state와 readwait state 동안 카운팅 값을 계산 비교 두개의 측정값이 차이가 나면 매설물이 존재하고 있다는 것을 의미하며, 두 측정값이 동일하거나 미세한 차이가 발생 할 경우는 매설물이 없음을 의미한다.

그림 11에서와 같이 도체가 탐지 되면 일반적으로 도체가 없었던 최초의 값 RD1 보다 작게 되며, LCD 하단부에 출력 메시지로 'Conductor!!'가 디스플레이 된다. [case2] Power Line이 탐지가 되고 이에 대한 signal이 P0.0 와 P0.1로 들어오면 [case3] 과 같이 'Power Line'이라는 메시지가 나오게 되며 D1값이 RD1보다 큰 값이 연속해서 계속 나오면 [case4]의 경우와 같이 'Retry' 메시지를 내는데 이는 그 값이 신빙성이 없는 경우이므로 reset을 한 후 새로 시작해야 한다. 도체나 전력선이 탐지되면 부저에서 경고음이 발생된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 탐지장치를 지하 매설물에 부착하지 않고 지표상에서 매설물을 탐지하는 간접적인 방법에 대하여 언급하였고, 또한 탐지시스템의 제어 및 표시 장치에 대하여 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 결과를 분석하였다. GPR은 전자파의 전파(propagation)와 반사(reflection)의 성질을 이용하여 지중의 각종 현상을 밝혀내는 최신의 물리탐사(geophysical surver)법의 일종이다[6][7]. 본 논문에서 제안한 시스템의 우수성으로는 기존의 GPR(Ground Penetration Radar)에 비해 시스템의 무게나 크기가 소형으로 만들 수 있을 뿐만 아니라 가격적인 면에서 유리하다. 또한 매설물에 송신장치를 부착하여 매설물의 위치를 찾아내는 영구자석 부착법보다는 실용성이나 편리성에서 좋다. 영구자석 부착법은 매설물에 경고띠나 매설위치를 표시하는 표시물에 강자성체를 부착한후 이를 탐지하는 방법[6]으로 사전에 매설물에 이것이 부착되어 있지 않으면 탐지할 수 없는 단점이

있지만 본 논문의 탐지 시스템은 영구자석이 부착되어 있지 않아도 탐지할 수 있는 장점이 있다. 향후 연구과제로는 제안된 시스템의 상품화를 위하여 탐지용 센서의 성능 제고 방법과 제어장치의 구조개선 방안을 들 수 있다.

참고문헌

- [1] 추진장치, 오오사카 가스, JP8-144694, 특허 1994, 일본
- [2] 지하매설도체 탐지시스템, 삼성중공업, P1998006488, 특허1997, 한국
- [3] Transmitter-receiver loop buried metal object locator with switch controlled reference voltage, 특허1982, 미국
- [4] 지하매설물의 검출방법, 최영준, 평성포리마, 특허 1995, 일본
- [5] Wireless and satellite telecommunication, Joseph N. Pelton, Prentice Hall, P393, 1995
- [6] 가스관 탐사를 위한 GPR의 연구, www.phlon.co.kr/k_gpr.htm, (주)콘트롤기술정보
- [7] Goodman, D. M., E. M. Johansson, and T.W. Lawrence, "On applying the conjugate-gradient algorithm to image processing problems," in Multivariate analysis : Future Directions, C. R. Rao, editor, North Holland, 1992

저자 소개



서 정 만

1985년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
1988년 ~ 1993년 : 엘지전자 컴퓨터연구소 주임연구원
1993년 ~ 1999년 : 삼성중공업 중앙연구소 선임연구원
1998년 8월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
2001년 2월 충북대학교 박사수료
2000년 3월 ~ 극동정보대학 컴퓨터게임과 교수
<관심분야> 데이터베이스, 실시간처리, 컴퓨터게임, 문화 콘텐츠



정 순 기

1983.12-1985.4월 : 한국 데이터통신, 책임연구원
1990-1994년 4월 :
Rijksuniversiteit Groningen.computing science
1986년 3월 ~현재 :
충북대학교 전기전자컴퓨터공학부, 교수
<관심분야> 데이터베이스, 실시간처리, 소프트웨어공학